PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number:

2002-141617

(43) Date of publication of application: 17.05.2002

(51)Int.CI.

H01S 5/343 H01L 33/00

(21)Application number: 2000-338760

(22)Date of filing:

07.11.2000

(71)Applicant: SHARP CORP

(72)Inventor: TSUDA YUZO

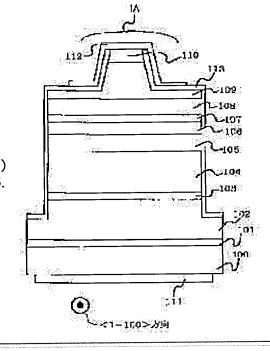
ITO SHIGETOSHI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND OPTICAL DEVICE COMPRISING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a nitride semiconductor light emitting element having an emission wavelength of shorter than 450 nm in which the threshold current density is reduced while enhancing emission efficiency.

SOLUTION: The nitride semiconductor light emitting element has a nitride semiconductor multilayer structure formed on a nitride semiconductor substrate 100 or a pseudo GaN substrate while including an emission layer 106 comprising an InaGa1-aN1-x-y-zAsxPySbz (0<a≤ 0.25; 0<x+y+z≤0.15) well layer and an InbGa1−bN (1 × 10−4≤b≤1.5 × 10−1) barrier layer between p-type layers 107-110 and n-type layers 102-105.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

噩 **₩** (21) (19)日本国格群庁 (JP)

(11)特許出願公開番号 報(4) 幹公司 华

特開2002-141617 (P2002-141617A)

(43)公開日 平成14年5月17日(2002.5.17)

テーマユード(参考)	5F041	C 5F073
FI	H01S 5/343	H01L 33/00
戴別記号	343	00
(51) Int CL.	H01S 5/343	H01L 33/00

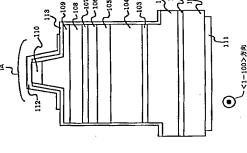
Ħ 81 왕 審査請求 未請求 請求項の数9 OL

(71)出題人 000005049 シャーン落れ会社		十一才株式会社内 「伊藤 茂林 大阪府大阪市同倍野区長社町22番22号 シャープ株式会社内	(14)代理人 100054746 介理士 深見 入邸	最終買に扱く
(71) 出版人	(72) 発明者	(72) 発明者	(74)代理人	
特閣2000—338760(P2000—338760)	平成12年11月7日(2000.11.7)			
(21)出版番号	(22) 出和日			

室化物半導体発光素子とそれを含む光学装置 (54) [発売の名称]

【課題】 450nm未満の発光故長を有する窒化物半 尊体発光素子のしきい値電流密度の低減と発光効率の改 節を図る。

とを含む発光層106を含む窒化物半導体積層構造が窒 [解決手段] 窒化物半薄体発光素子は、p型層107 化物半導体基板100または擬似GaN基板上に形成さ a1...N1-x-y-zASxPySbz (0<a\u00e30. 25;0 < x + y + z ≤ 0. 15) 井戸層とこれに接する Inb Ga1-bN (1×10-4≦b≤1. 5×10-1) 障壁屬 ~110とn型層102~105の間においてInaG れていることを特徴としている。



特許請求の範囲】

層構造が窒化物半導体基板または擬似GaN基板上に形 **成されていて、かつ発光波長が450nmより短いこと** a1-.N1-x-y-2AsxPySbz (0<a≤0. 25;0 【請求項1】 p型層とn型層との間においてIn.G Gal-bN障壁層とを含む発光層を含む窒化物半導体積 < x + y + z ≤ 0. 15) 井戸層とこれに接する1 nb を特徴とする窒化物半導体発光素子。

の選定で7×101/cm2以下であることを特徴とする 【請求項2】 前記基板の貫通転位密度はエッチピット 請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

10

10-1以下であることを特徴とする請求項1または2に [請求項3] 前記1nbGa1-bN障壁層中で111族 元素におけるIn組成比bが1×10~4以上で1.5× 記載の窒化物半導体発光素子。

特徴とする請求項1から3のいずれかの項に記載の窒化 障壁層はSi、O、S、C、Ge、Zn、Cd、および 【請求項4】 前記発光層中において、少なくとも前記 Mgから遠択された不純物を1×1016/cm³以上で 1×1020/cm3以下の総添加量で含んでいることを 物半導体轻光素子。

20

【請求項5】 前記発光層中で前記障壁層と交互に積層 された前記井戸層の数が2層以上で10層以下であるこ とを特徴とする請求項1から4のいずれかの項に記載の 窒化物半導体発光素子。

0 n m以下であることを特徴とする請求項1から5のい [請求項6] 前記井戸層の厚さが0.4 nm以上で2 ずれかの項に記載の窒化物半導体発光素子。

m以下であることを特徴とする請求項1から6のいずれ 【請求項7】 前記障壁層の厚さが1nm以上で30n かの項に記載の窒化物半導体発光素子。

層中のⅠn組成比bがほぼ等しいことを特徴とする請求 項1から7のいずれかの項に記載の窒化物半導体発光素 【請求項8】 前記In.Gal..NI-x-y-2AsrPyS bz井戸層中のIn組成比aと前記InbGa1-bN障壁

【請求項9】 前記請求項1から8のいずれかの項に記 載された窒化物半導体発光素子を利用した光学装置。 [発明の詳細な説明]

40

化物半導体発光素子とこれを利用した光学装置に関する 【発明の属する技術分野】本発明は、発光効率の高い窒

ものである。 [0000]

いので、フォトルミネッセンス(PL)測定によって発 で報告されている構造は p n 接合を含む発光素子ではな GaN/GaInN/GaInNAs/GaIN多重量 子井戸構造を有する発光層が報告されている。この論文 [従来の技術] Jpn. J. Appl. Phys. Vo 1.37 (1998) p. L1508の設文において、

8

特開2002-141617

位子井戸層は、従来のGaInN/GaN多重量子井戸 長の光を射出する1nGaNAs/1nGaNの発光層 GaN/GalnN/GalnNAs/GalnN多面 層に比べてPL発光強度が強くなっている。また、特開 平11-204880においては、450nm以上の故 光層が評価されている。そのPL測定の結果によれば、 を含む半導体レーザが開示されている。

[0003]

[0004]また、特開平11-204880では45 0 n m以上の波長の光を発する半導体レーザが開示され InGaNにおける元素組成比などの詳細は述べられて 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述の Jpn. J. Appl. Phys. の論文で報告された GaN/GalnN/GalnNAs/GalnN多重 量子井戸層においては、約500mmから600mm付 近までの幅広いPLスペクトルが観測されている。この 幅広いPLスペクトルは、GaInNAsの相分離によ るパンド端発光または多重量子井戸層の層厚揺らぎによ ているが、それに含まれる発光層中のInGaNAs/ る複数のPLスペクトルが重なっていると考えられる。

の半導体レーザや発光ダイオードにおいて、450nm 【0005】現在では、光情報記憶再生装置などの分野 において、高密度の記憶/再生を可能ならしめる短波長 また、白色光源装置などの分野において、蛍光塗料を介 して白色発光を可能ならしめる短波長の光を発する高輝 度発光ダイオードが求められている。すなわち、これら の光を射出する高出力半導体レーザが求められている。 よりも短い波長の光を射出し得るものが求められてい

井戸層の層厚揺らぎに起因する井戸層と障壁層との間に 強度 (発光効率)の向上としきい値電流密度の低減を図 ることを目的としている。ここで、InGaNAsの相 分離とは、平均As組成比に比べてAs組成比の高い領 域と低い領域に分離することを意味し、濃度分離とも称 GaNAs井戸層/InGaN障壁層を含む発光層中の InGaNAsの相分離を低減するとともに、多重盈子 おける界面急峻性の低下を改善することによって、発光 【0006】本発明は、pn接合を含みかつ450nm より短い波長の光を発する発光素子(発光層がp型層と n型層との間に挟まれている発光素子)において、In

P、またはSbの少なくともいずれかで置換された井戸 [0007] なお、上述のような課題はInGaNAs 井戸層に限られず、InGaN中のNの一部がAs、

習についても同様の課題である。

[課題を解決するための手段] 本発明によれば、窒化物 半導体発光素子は、p型層とn型層との間において l n Ga1-1N1-x-y-zAsxPySbz (0<a≤0.25; 20

特開2002-141617

3 < x + y + z ≤ 0. 15) 井戸屋とこれに接するIn</p> b G a1-b N障壁層とを含む発光層を含む窒化物半導体積 層構造が窒化物半導体基板または擬似G a N 基板上に形 **成されていて、かつ発光波長が450nmより短いこと** を特徴としている。

【0009】ここで、光を発する作用を生じる発光層は **登子井戸層と降壁層とを含んでおり、量子井戸層は障壁 習に比べて小さなエネルギバンドギャップを有してい**

【0010】基板の貫通転位密度はエッチピットの測定 で7×101/cm2以下であることが好ましい。

【0011】InbGai-bN障壁層中でIII族元素に おけるIn組成比bは、1×10-4以上で1.5×10 1以下であることが好ましい。

i, O, S, C, Ge, Zn, Cd, およびMgから遊 【0013】発光層中で障壁層と交互に積層された井戸 習中のⅠn組成比aとⅠnbGal-bN障壁隔中のⅠn組 【0012】発光層中において、少なくとも障壁層はS い。また、井戸屋の厚さは、0.4mm以上で20mm [0014] InaGai-aNi-x-y-zAsxPySbz井戸 **択された不純物を1×1016/cm³以上で1×1020** 以下であることが好ましい。さらに、障壁層の厚さは、 陸の数は、2層以上で10層以下であることが好まし / c m³以下の総添加量で含んでいることが好ましい。 1nm以上で30nm以下であることが好ましい。

【0015】以上のような窒化物半導体発光素子は、光 レーザプリンタ装置、白色光源装置などの種々の光学装 情報読出装置、光情報書込装置、光ピックアップ装置。 **成比 b は、互いにほぼ等しいことが好ましい。** 置において好ましく用いられ得るものである。 [0016]

【発明の実施の形態】まず本発明の原理などについて説 明し、その後に本発明による種々の実施例について説明

貫通転位密度は、約4×108/cm2以上であった。こ 擬似G a N 基板以外の他の種類の基板上に窒化物半導体 たとえば、サファイア基板またはSiC基板上に成長さ せた窒化物半導体膜において、エッチピットで測定した 3のエッチング液 (液湿250℃) にエピウエハを10 れたピット密度が測定された。このような窒化物半導体 て、InGaNAs井戸層/InGaN障壁層を含む発 【0017】 (本発明の原理) 窒化物半導体基板または こで、賃通転位密度の測定として、リン酸:硫酸=1: 分間浸し、そのウエハのエピタキシャル層表面に形成さ 基板(模似GaN基板をも含む)以外の基板上におい 膜を形成すれば、その膜中の貫通転位密度が高くなる。 光層を成長させた場合、以下のような問題が生じる。

20 そして、貫通転位周辺では、偏折したIn組成比がIn 【0018】すなわち、InGaN障壁層中の貫通転位 密度が高ければ、その転位周辺に1ヵの偏折が生じる。

う。このようなInの偏折は、InGaN障壁層中にお ハて、 I n組成比がその平均よりも高い領域と低い領域 GaN降壁層中の平均In組成比よりも高くなってしま を形成させる。これが、貫通転位による「nの相分離 (濃度分離ともいう) である。

い。このことは、発光層の成長温度が600℃以上で9 00℃以下ではInとAsの結合が形成されやすく、ま たGaやInのようなIII族原子とAs原子との結合 カがIII族原子に対するN原子の結合力よりも非常に 【0019】このような1n液度分離を含む1nGaN その成長の際に供給されるAs原子が1nGaN障壁層 **ᇦ壁層に接してInGaNAs井戸層を成長させれば、** 中の1 n組成比の高い領域に選択的に捕らえられやす 強いことに起因していると考えられる。

【0020】 In組成比の高い領域へ選択的にAs原子 組成比がその平均よりも高い領域と低い領域が形成され る。このように、ASがある特定領域に経集することを Asの偏折と呼び、この偏桁効果によって1nGaNA s 井戸層中においてA s 組成比がその平均より高い領域 と低い領域が形成されることをAsによる相分離と呼ぶ が捕らわれれば、InGaNAs井戸層中においてAs (凌度分離ともいう)。

る。このように結晶系が異なる相分離のことを結晶系分 nGaNAs井戸層中で形成されれば、その濃度分離ま た、ASによる濃度分離または結晶系分離は1nGaN 唯と称する。Asによる濃度分離または結晶系分離がI As井戸層/InGaN障壁層の界面急峻性を損ない、 【0021】Asによる偏折効果がさらに強くなれば、 井戸層の結晶系は六方晶系から立方晶系に変化し始め たは結晶系分離に対応したパンド端発光が生じる。ま これが発光層の層厚揺らぎをも発生させる。

【0022】以上のことが、複数の発光スペクトルが重 さらに、この半値幅の広い発光スペクトルは発光効率の なった半値幅の広い発光スペクトルの発生原因であり、

氏下(発光強度の低下)の原因にもなる。

nGaNAs井戸層中のIn組成比とAs組成比が後述 とが前提である。このことは、InGaNAs結晶を成 長させる際に原料として供給されたIn原子が貫通転位 周辺部に偏折しようとしても、同時に供給されたAs原 子と容易に結合して結晶中に取込まれるので、貫通転位 [0023]次に、InGaNAs井戸層中の貫通転位 によるInの偏析効果を調べたところ、それはInGa の項目(井戸屋の組成比)で述べられる範囲内にあるこ N降壁層中に比較して小さかった。ただし、これは、I 周辺部に偏折しにくくなると考えられる。

GaN障壁層の構成において、発光半値幅の低減に伴う 発光強度ピークの向上としきい値電流密度の低減を得る ためには、InGaNAs井戸層中のAsによる設度分 離または結晶系分離を低減する必要があり、そのために 【0024】したがって、1nGaNAs井戸陸/1n

N障壁層のIn偏析(In濃度分離)を低減することが は、InGaNAs井戸層に接して形成されるInGa

5。ただし、InGaNP井戸層、InGaNAs井戸 【0025】なお、以上においては説明を簡略化するた InGaN中のNの一部がAs、P、またはSbの少な くともいずれかで置換された井戸層においても同様であ 層、およびInGaNSb井戸層は、それぞれ以下のよ めにInGaNAs井戸層を例にとって述べられたが、 うな異なる特徴をも有する。

結合半径)に最も近い半径を有するPを添加しているの で、AsやSbに比べてその井戸層中のV族元素格子位 置においてNの代わりにPが取込まれやすい。 したがっ て、InGaN結晶中にPを添加しても、その井戸層結 は、P、As、およびSbのうちでNの原子半径(共有 [0026] すなわち、InGaNP井戸園において 晶性を損なうことがない。

を小さくすることができる。

ことから、揮発性の高いN原子が井戸層中から抜け出る ことを防止するように作用し得る。このようなN原子の As、およびSbのうちで最も大きな原子半径を有する 抜けの防止によって、井戸層の結晶性を向上させること 【0027】InGaNSb井戸陽中のSb原子はP、

[0028] InGaNAs井戸屋においては、P、A s、およびSbのうちで中間の原子半径を有するAsを b井戸層との両方の特徴を含んでおり、最も好ましい井 添加しているので、InGaNP井戸層とInGaNS 戸層ともいえる。

域を図る。第3には、InGaN障壁層内に均一に分布 組成比とAs、P、および/またはSbの組成比とを最 ために、第1には、窒化物半導体基板または擬似GaN 【0029】本発明においては、まず、井戸層中のIn nの微度分離とAs、P、および/またはSbによる微 nGaN障壁層のIn偏析(In濃度分離)を抑制する **拡板を用いることによってエピタキシャル成長層中の質** 通転位密度を低減させて、InGaN障壁層のIn偏析 を低減させる。第2に、1nGaN障壁層中の1n組成 tを最適範囲内に調整することによって、In 偏析の低 させた不純物によって1ヵを捕らえ、これによって貫通 **適範囲内に調整することによって、井戸層中における I** 度分離または結晶系分離を極力低減させる。さらに、1 転位周辺に1ヵが偏折することを低減させる。

As、P、および/またはSbによる濃度分離を促進さ は、それがわずかであれば電子とホールのキャリアを局 In組成比aが高くなりすぎれば、Inによる機度分離 の度合いが大きくなりすぎて、かえって発光効率が低下 在化させて発光効率の向上をもたらす。しかしながら、 |-x-y-z A s x b, S bz井戸層中の I n による淡度分離 する。また、このような過剰のInによる濃度分離は、 [0030] (井戸層の組成比) In.Gai-.N

€

系分離を引起す。したがって、その井戸隆中のIn組成 せ、ひいてはAs、P、および/またはSbによる結晶 比aを最適範囲内に調整することが必要である。

特開2002-141617

[0031] + 42+5, In.Gai-1Ni-x-y-z Asx P %以上で25%以下であることが好ましく、0.1%以 上で10%以下であることがさらに好ましい。1n組成 の局在化による発光効率の向上が期待できなくなる可能 性がある。他方、In組成比aが25%以下でさらには 10%以下になれば、過剰な1nによる濃度分離の影響 y S b 2 井戸層の111族元素中で1n組成比aは0.1 比aがO. 1%未満になれば、電子とホールのキャリア

As、P、および/またはSbが含まれたことによる効 またはSbによる微度分離が生じて、さらには結晶系分 とがより好ましい。なぜならば、この総和の組成比×+ y+zが0.01%よりも小さくなれば、その井戸園に 果(しきい値電流密度の低減または発光強度向上)が期 離に移行し得るからである。他方、総和の組成比×+y の組成比×+y+zは、0.01%以上で15%以下で あることが好ましく、0. 1%以上で9%以下であるこ 待されにくくなるからである。他方、総和の組成比×+ y+zが15%よりも高くなれば、As、P、および/ S b1井戸層中のAs、P、および/またはSbの総和 [0032] & 512, [n. Gai-. Ni-x-y-2 Asr Py +zが0.1%以上になれば、その井戸層中にAs、 20

Sbによる相分離が多少生じても、発光素子の発光効率 P、および/またはSbが含まれたことによる効果が顕 %以下であれば、井戸層内でAs、P、および/または 著に現われ始める。また、総和の組成比×、y+zが9 の低下にそれほど大きく影響しないので好ましい。

[0033] tt; In.Gai-.Ni-x-y-zAsrPyS bz井戸層におけるAs、P、およびSbの組成比x、

説明される表1または表2における組成近傍で形成され れば、およそその目的とする発光波長の変化物半導体発 y、およびzはさらに、目的とする発光波長(レーザ発 振波長も含む) に応じて1n組成比aをも考慮して調整 される。上述のように、本発明は、光情報記録装置や白 色光顔装置などへの利用のために、450nmより短い 発光波長を有する発光効率の高い窒化物半導体発光素子 (半導体レーザ茶子においてはしきい値電流密度が小さ く、発光ダイオード素子においては発光強度が高い)を 提供することを目的としている。ここで、InaGa1-a NI-x-y-zAsxPySbz井戸層がたとえば後で示されて 光素子が作製され得る。

式みた。このための具体的な方策として、発光層を成長 [0034] (発光素子を成長させる基板について)[n G a N障壁層中で1nが買通転位周辺部に偏折するこ とを防止するために、発光層中の貫通転位密度の低域を させるための基板を選択した。

【0035】本発明者らが種々の基板を試みた結果の知

特に好ましい。さらにまた、窒化物半導体基板の主面と 化のためにはクラッド層よりも屈折率の低い層がそのク Gayln:N基板において、窒素元素のうちの約10% い(ただし、基板の六方晶系が維持されることが前提で C、Ge、Zn、Cd、Mg、および/またはBeがド **ーピングされてもよい。n型窒化物半導体基板において** は、これらのドーピング剤のうちで、Si、O、C1が なる結晶面方位はC面 {0001}の他に、A面 (11 または {1-101} 面であってもよい。また、これら えば、GaN基板は、その他の窒化物半導体基板に比べ て製造方法が容易であり、生産性に優れているので好ま しい。窒化物半導体レーザの場合、垂直横モードの単峰 ラッド層の外側に接している必要があり、そのためには 以下がAs、P、および/またはSbで置換されてもよ x + y + z = 1)を好ましく用いることができる。たと AIGaN基板を用いることが好ましい。また、Alx -20)、R面 (1-102)、M面 (1-100)、 [0036] 窒化物半導体基板の材料としては、Alx GarlnıN (0≦x≦1;0≤y≤1;0≤z≤1; の面方位から2。以内のオフ角度を有する基板であれ ある)。 さらに、基板中には、S;、〇、C1、S、

成長した窒化物半導体膜中の貫通転位密度は、最も少な いエッチピット密度の領域で約7×101/cm2以下で 半導体膜の貫通転位密度と同様の値である。しかし、擬 【0037】上述のような窒化物半導体基板に次いで好 ましい基板として、擬似GaN基板を用いることができ る。この擬似GaN基板の製造方法などについては、実 協例2において詳細に述べられる。 擬似GaN基板上に あった。これは、窒化物半導体基板上に成長した窒化物 似GaN基板は、貫通転位密度の低い領域と高い領域が 混在しているので、窒化物半導体基板を用いた場合に比 方、擬似G a N 基板は、窒化物半導体基板に比べて大面 べて発光素子の歩留まりを低下させる傾向になる。他 積のものを安価に製造しやすいという利点を有してい ば、その表面モホロジーが良好であって好ましい。

20 【0038】上述のような窒化物半導体基板または擬似

特開2002-141617

GaN基板を用いて成膜することによって、その膜中の **貫通転位密度が従来のサファイア基板またはSiC基板** 上に成長した膜に比べて低減し、IngGal-N

+ z ≤ 0. 15) 井戸園/InbGa1-bN障壁圏を含む きい値電流密度の低減を得ることができる(図10と図 -x-y-zAsxPySbz (0<a≦0, 25;0<x+y 発光素子の発光半値幅の低域に伴う発光強度の向上とし 11を参照)。

成長させたIn•Gai-•Ni-x-y-2AsxPySb2 (0< N障壁層の1n組成比bに依存する1n相分離(濃度分 [0039] (InoGai-bN障壁層中のIn組成比b について)窒化物半導体基板または模似GaN基板上で a≤0,25;0<x+y+2≤0,15) 井戸隘/I nbGai-bN障壁層を含む発光層における I nbGai-b 離)の度合いと発光強度の変化について、図9を参照し

軸は Inb Gal-b N障壁層を用いて成長させた発光層の 強度は I no.05 G a o.95 No.98 A s o.02 井戸函/GaN [0040] 図9において横軸は1nbGal-bN障壁層 のIn組成比bを表わし、左縦軸はInbGat-bN障壁 隔中のⅠn相分離の度合い(%)を表わし、そして右縦 発光強度を表わしている。ここで、図9における発光層 障壁層を含む発光層の発光強度で規格化されている。な お、In相分離の度合いとは、障壁層中の単位体積中に は、1 no.05G ao.95No.98A so.02井戸層/InbG a1-b障壁層を含んでいる。そして、この発光層の発光 おいて、平均1ヵ組成比の領域以外で1ヵ相分離を起こ している部分の体積割合を表わしている。

が徐々に増え初め、bが1.5×10-1のときにIn相 分離が約3%程度になり、そしてbが2.0×10-1に 【0041】図9によれば、In組成比bが1×10-4 ~1×10-2程度の範囲では1ヵ相分離の度合いに変化 がなく、bが1×102を超えたあたりから1n相分離 なれば、1ヵ相分離が約6%以上になっている。

組成兄bが1×10-4以上で1.5×10-1以下の結屈 0.02井戸園/GaN障壁層に比べて強い(すなわち規格 In組成比bの範囲は、1×10-3以上で1×10-1以 化された発光強度が1よりも大きい)。 さらに好ましい 【0042】次に、図9の発光強度を参照すれば、1 n 内であれば、発光強度は I no. 05 G ao. 95 No. 98 A s

性の高いN原子を捕らえ、その障壁層の結晶性がいくぶ 【0043】In組成比bが1×10-4~1×10-3程 度の範囲では、1ヵ相分離がほとんど生じていないにも は、GaN障壁層を含む発光層に比べて強い。これに関 中にInが含まれることによって、そのIn原子が揮発 **人向上しているのではないかと考えられる。1 n組成比** かかわらず、bが1×10-3~1×10-1程度の場合に 比べて発光強度が小さい。しかしながら、この発光強度 しては、その理由が必ずしも明らかではないが、障壁層

|--b N降壁屬玄含む I n = G a | - a N - x - y - z A s x P y S b 1/InbGab-1N発光層は、GaN障壁層を含むIna Gai-•Ni-x-y-zAsx b, Spz/GaN部光扇に比入 bが1×10-4以上で1.5×10-1以下の1 nbGa て発光強度の面で優れているといえる。

戸層中でのAs、P、またはSbによる相分離(濃度分 職)または結晶系分離のために発光強度が減少するもの 【0044】他方、In組成比bが1×10-1よりも大 きくなれば発光強度が減少し始め、2×10-1になれば 発光強度が1以下となる。これは、1n組成比bが高く なるにつれて、1n相分離の度合いが大きくなって、井 と考えられる。図9から、1よりも大きい発光強度が得 られる1n相分離の度合いは、6.5%よりも小さく、 好ましくは約3%以下であることがわかる。

10-1以下の1 nbG a1-b N障壁層を含む発光層の発光 半値幅は、bが2×10-1の場合に比べて約10%~1 [0045] 1n組成比bが1×10⁻⁴以上で1.5× 5%程度まで減少していた。 【0046】以上のことから、窒化物半導体基板または 光層において好ましい In組成比bの下限値は1×10 *4以上で、好ましくは1×10-3以上である。他方、1 n 組成比 b の上限値は 2×10-1未満で、1.5×10 "以下であることが好ましく、1×10"以下であるこ 疑似G a N基板上で成長させた I n · G a i - · Ni - x - y - z Asx Py S bz井戸園/Inb G at-b N障壁園を含む発 とがさらに好ましい。

満たす発光層であれば、図9に示す障壁層の1n組成比 [0047] なお、図9においてはIn0.05Ga0.95N). 98 A s 0. 02 井戸層/Inb G a t-b N障壁層を含む発光 層について述べられたが、これ以外でも本発明の要件を bと発光強度およびIn相分離度合いとの関係と同様の 関係を得ることができる。

30

neGai-eNi-x-y-2AsaPySb2井戸層の1n組成比 aとほぼ等しければ、それは製造方法上で非常に好まし い。なぜならば、発光層を作製する際に、一定の1n供 給量のもとで、As、P、またはSbを添加するだけで 井戸層が作製でき、添加しなければ障壁層が作製できる からである。このよう作製法は、界面の急峻性がより向 [0048] InbGal-bN障壁層のIn組成比bがI 上する方向にも寄与する。

は、貫通転位と同様にTnをトラップするように作用す 異なって、1nの偏折を弱めることができる。適当な不 d、およびMgから選択することができる。また、不純 【0049】 (発光層中への不純物の添加について) 1 nGaN障壁層中に適当な不純物を添加すれば、その不 る。しかし、不純物は均一に分布するので、真通転位と 物の添加量は、その総添加量が1×1016~1×10²⁰ /cm3の範囲内であればよく、複数種の不純物が添加 純物は、たとえばSi、O、S、C、Ge、Zn、C 純物は障壁層内に均一に分布する。このような不純物

特開2002-141617

9

密度が増大し、逆に発光強度の低下をもたらし始めるの よりも少なければ、不純物の分布密度が小さくなり、十 分にInをトラップすることができないので好ましくな も多ければ、不純物を添加すること自体による結晶欠陥 されてもよい。不純物の総添加量が1×1016/cm3 で好ましくない。 【0050】なお、不純物は井戸層と障壁層の両方に添

加してもよいし、井戸層と障壁履のどちらか一方のみに 井戸履と降壁陰の両方に不純物を添加する場合、井戸脳 InGaN障壁層のみに不純物を添加することが最も好 ましい。なぜならば、井戸陽中のAs、P、またはSb による減度分離または結晶系分離は、「nGaN障壁層 中にも不純物を添加することによって確かに井戸層中で の微度分離や結晶系分離が弱められるが、その不純物添 加による井戸層中での光吸収(利得損失)の不利益も生 の1n偏析に起因して生じると考えられるからである。 添加してもよい。しかし、本発明者らの知見によれば、

じ始める。したがって、井戸園中に不純物を添加する場 合には、前述の総添加量の範囲内で慎重に調整する必要

なわれることはない。したがって、多重量子井戸構造か て、IneGal-eNl-x-y-zAsrPySbz井戸函中の線 峻性を改善することができる。 すなわち、井戸層と障壁 層の複数層からなる良好な多重量子井戸構造を作製する ことが可能であり、多重量子井戸構造を構成する多層積 層構造によって井戸屋と障壁層との間の界面急峻性が損 ら得られる発光特性も好ましいものである(界面急峻性 が改辞されたことによって発光半値幅が減少し、発光強 AskPySbz并戸層/InbGal-bN障壁層の界面急 度分離と結晶系分離を低減し、[n.G a1-1N1-x-y-2 【0051】 (井戸暦の蜃数について) 本発明によっ 度が向上する)と期待される。

【0052】そこで、本発明による発光層を用いた多重 **電子井戸レーザダイオードに関して、井戸屋の数とレー** げしきい値電流密度との関係を調べ、それに対する基板 の影響も聞くた。

の井戸層の数とレーザしきい値電流密度との関係を示し ている。このグラフ中の●印は、GaN基板(窒化物半 電流密度を表わし、〇印は従来のサファイア
基板(窒化 0.01井戸陽/In0.05 Ga0.95 N降壁陽を含む発光層中 導体基板としての一例)を用いた場合のレーザしきい値 **物半導体基板以外の基板としての一例)を用いた場合を** [0053] M1012, Inc. 05 Gao. 95 No. 99 As 表わしている。

用いた場合に比べて、GaN基板上のレーザダイオード がわかる。これは、GaN基板を用いたことによって障 壁層中の買通転位密度が減少してIn偏折が低減された 【0054】図10によれば、従来のサファイア基板を **素子において、しきい値電流密度が低くなっていること**

ことによる I no.os G ao.ss No.ss A so.o1 井戸層/ I

れた効果であると考えられる。

よに兄くて30%以上府該したいた。 no.os G ao.os N障壁層の界面急峻性の改善と、その井

【0061】なお、擬似GaN基板上における井戸陽の ほぼ同じであった。ただし、GaN基板は、その貫通転 位密度の低い領域と高い領域が混在しているので、窒化 が少し低下する。他方、擬似G a N 基板は、窒化物半導 体基板に比べて大面積のものを安価に作製しやすいとい う利点がある。また、図11の関係は1no.01Gao.99 No. 99 A s o. 01 井戸層/I n o. 01 G a o. 99 N降壁層に限 ≦0,25;0<x+y+z≤0.15) 井戸陽/1n bGa1-bN (1×10-4≤b≤1.5×10-1) 障壁層 を含む発光層であれば同様の効果を得ることが可能であ る。さらに、スーパールミネッセントダイオード素子に 数と発光強度の関係は、図11中のGaN基板の場合と 物半導体基板を用いた場合に比べて発光素子の歩留まり 5九寸、InaGa1-aN1-x-y-zAsxPySbz (0<a おいても、図11と同様の効果が得られる。 同じである。ただし、擬似GaN基板は、その貫通転位 密度の低い領域と高い領域が混在しているので、窒化物 半導体基板を用いた場合に比べて発光素子の歩留まりが [0055] さらに、図10からわかるように、GaN 基板上に成長させられたレーザダイオード素子は、井戸 い値電流密度で室温連続発振が可能である。発版しきい 値電流密度をさらに低減するためには、2層以上で6層 【0056】なお、擬似GaN基板を用いた場合におけ 5井戸層の数としきい値電流密度との関係は、図10中 のGaN基板(窒化物半導体基板の一例)の場合とほぼ 戸路中のAsによる設度分離または結晶系分離が低減さ 層の数が10層以下のときに8kA/cm2以下のしき 以下であることが好ましい。すなわち、本発明によっ て、良好な多重量子井戸構造を作製できることがわか

してしまう可能性がある。また、井戸層の厚さが20 n [0062] (発光層の厚きについて) 1ngai-1N 1-x-y-1A sx Py S bz井戸層の厚さは0. 4 n m以上で 20nm以下であることが好ましく、0.4nm以上で 10ヵm以下であることがさらに好ましい。この井戸層 の厚さがり、4mmよりも薄くなれば量子井戸効果によ るキャリアの閉じ込め準位が高くなって発光効率が低下 mよりも厚くなれば、界面の急峻性が悪化し始める。こ の理由については必ずしも明らかではないが、おそら 20

体基板に比べて大面積のものを安価に作製しやすいとい

少し低下する。しかし、擬似G a N 基板は、窒化物半導

う利点がある。また、図10の関係はIno.05G ao.95

No. 89 A s 0. 01 井戸園/ I n 0. 05 G a 0. 95 N 降壁屬を合

む発光層に限られず、IneGai-eNi-x-y-1AsxPy

族元素におけるAs、P、および/またはSbの総和の く、IneGat-eNt-r-y-2AsxPySbz井戸唇中のV 組成比×+y+2が15%以下であってもわずかにA

強度との関係を調べ、それに対する基板の影響をも調べ

【0057】次に、本発明による多重量子井戸を含む発 光層を用いた発光ダイオードにおける井戸屋の数と発光

の傾向を得ることが可能である。

0.01井戸圀/Ino.01Ga0.99N障壁層を含む発光層に おける井戸層の数と発光強度との関係を示している。図

[0058] 図11は、Inc.01Gac.99No.99As

×10-1) 障壁圏を含む発光圏であれば、図10と同様

5) 井戸陽/InbGal-bN (1×10-4≦b≤1.5

Sb₂ (0<a≤0, 25;0<x+y+z≤0, 1

層の厚さが増すにつれてその濃度分離の領域が徐々に拡 n * G a i - * N i - x - y - z A S x P y S b z 井戸層の厚さが 1 0 唯の影響がより小さくなり、その濃度分離が発光効率の s、P、またはSbによる濃度分離が起きていて、井戸 大して井戸層の表面が荒れてしまったか、または結晶系 分離まで進んでしまったためではないかと思われる。1 nm以下であれば、As、P、またはSbによる濃度分 減少を引き起こしにくくなるので好ましい。

[0063] 他方、InbGa1-bN障壁層の厚さは1n 上で15nm以下であることがさらに好ましい。この降 <u> 監層の厚さが1nmよりも薄くなれば十分にキャリアを</u> 閉じ込めることが難しくなる。また、障壁層の厚さが3 m以上で30ヵm以下であることが好ましく、1ヵm以 0 n m よりも厚くなれば、界面の急峻性が低下し始め

40

【0059】図11から、従来のサファイア基板よりも GaN基板を用いることによって発光強度が向上するこ 障壁層中の貫通転位密度が減少して1n偏折が低減され I no.01G ao.99N障壁層の界面急峻性の改善と、井戸 層中のAsによる濃度分離および結晶系分離が低減され 【0060】さらに、GaN基板上に成長させた発光ダ 層以下のときに強く、2層以上で10層以下であること

合を表わしている。

とがわかる。これは、GaN基板を用いたことによって

たことによる I no.01 G a 0.99 No.99 A s 0.01 井戸園/

を表わしている。●印はG a N 基板を用いた場合の発光 強度を表わし、○印は従来のサファイア基板を用いた場

11中の発光強度は、任意強度 (arb. units)

る。この理由についても必ずしも明らかではないが、お そらく、1 nb G a 1-b N障壁層中の 1 1 1 族元素におけ るIn組成比aが15%以下であってもわずかにInに よる濃度分離が起きていて、障壁層の厚さが増すにつれ その濃度分離の領域が徐々に拡大して障壁層の表面が荒 れてしまったか、または過剰な濃度分離が進行したため

ではないかと思われる。InbGa1-bN障壁層の厚さが 15ヵm以下になれば、界面急峻性が向上し得るので好 きに、 [0064] (実施例1) 図1は、本発明の実施例1に いる。なお、本願のいくつかの図面において、回一の参 よる窒化物半導体レーザ素子を模式的な断面図で示して 照符号は同一部分または相当部分を表わしている。

101、n型GaNコンタクト層102、n型1no.07 (0001) n型GaN基板100、GaNパッファ層 3 a 0. 93 N クラック防止層 1 0 3、n型A 1 0.1 G a 0.9 Nタラッド帰104、n型GaN光ガイド層105、発 光圀106、p型A10.1Ga0.8Nキャリアプロック層 10、n型電極111、p型電極112、およびSiO 107、p型GaN光ガイド層108、p型Alo.1G ao.8Nクラッド層109、p型GaNコンタクト層1 【0065】図1の窒化物半導体レーザ素子は、C面 2誘電体膜113を含んでいる。

).02 G a 0.98 N 0.98 P 0.02 井戸層とが交互に積層された* no.07G ao.83Nクラック防止層103を厚さ40nm こ成長させる。再び、基板温度を1050℃に上げ、1 8 n mの I no.02G ao.98 N障壁層と厚き4 n mの I n を用いて、0.8 mm厚さのn型A10.1Ga0.9Nクラ を成長させ、続いてn型GaN光ガイド層(Si不純物 成長させる。その後、基板温度を800℃に下げ、障さ まずMOCVD(有機金属気相成長)装置内にn型Ga ノモニア)と111族元素用原料のTMGa (トリメチ ルガリウム)を用いて、比較的低温の550℃において を加え、n型GaN層(Si不純物濃度:1×10¹⁸/ B度を700~800℃程度に下げ、111族元素原料 のTMIn(トリメチルインジウム)を供給し、n型I N 基板100をセットし、V 族元素用原料のN H3(ア I 1 族元素原料のTMA1 (トリメチルアルミニウム) 微度:1×1018/cm³) 105を0.1μm厚さに る。次に、1050℃の成長湿度で上記原料にSiH4 c m³) 102を3 μ m 厚さに形成する。続いて、基板 ッド圏 (Si 不笔物減販: 1×10¹⁸/cm³) 104 【0066】このようなレーザ来子の作製においては、 GaNパッファ層101を厚き100nmに成長させ

特開2002-141617 井戸届を含んでいる。これらの障壁層と井戸層の成長の 間または井戸屋と障壁層との間に1秒以上で180秒以 って、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少するの 施例では、発光層106は障壁層で開始して障壁圏で終 内の結晶成長中断期間を挿入してもよい。このことによ *発光層 (多重量子井戸構造) 106を形成する。この実 アする多重量子井戸構造を有し、3層(3周期)の量子 際には、それらの両方にSiH(Si不純物設度:1 ×1018/cm3)が添加された。障壁層と井戸層との で好ましい。 8 10

おいて、As、P、またはSbの組成は、目的とする発 光素子の発光波長(または発版波長)に応じて調整する する発光波長 (450nm未満の発振波長)を得るため 採用すればよい。そうすれば、ほぼ目的とする発光波長 を得ることができる。井戸騒として1nGaNSb系の 半導体を用いる場合には、そのV族元素中のSb含有率 は約2%以下であることが好ましい。なぜならば、1n Sb含有領域の高い立方晶系と低い六方晶系とに結晶分 [0067] In.Gai-Ni-x-y-zAsxPySbt (0 <a≤0.25;0<x+y+z≤0.15) 井戸層に ことができる。たとえば、井戸層としてInGaNAs 系または In GaNP系の半導体を用いる場合に目的と には、Inの組成比aに応じて、表1または表2に示さ れた数値をAsまたはPの組成比×またはyの値として GaNSb半導体がこれより高い濃度のSbを含めば、 20

[8900]

疑しやすくなるからである。

IngGat-gN-xAsz	s=0.2	\setminus	\setminus	V		x 000
	a=0.1		x=0.003	0.006	0.009	0.016
	B=0.05	x=0.001	0.008	0.011	0.015	0.021
	a=0.02	x=0.004	0.011	0.015	0.018	0.024
	10.0=	20 OZ	0.012	0.016	0.019	0.025
		380rm	400mm	410mm	420rm	440rm
	先光波長					

[6900] [表2]

0,025 y=0.009 y=0.002 0.0 0.015 Q 013 y=0.004 0.02 0 018 **a**=0.05 88 380mm | y=0,008 | y=0,006 | y=0,001 0.02 8=0.02 0.018 670.0 88 8=0.01 0.025 0.0 0.031 0.041 * 410rm 400mm 420mm

は、Inと同様に、As、P、およびSbもその井戸園 a N結晶中にAs、P、またはSbを含有させることに [0070] 表1および安2からわかるように、1nG よって1n組成比を低く抑制することができる。これ

のバンドギャップを小さくするように作用するからであ と結合しやすいので、1nが賃通転位周辺部に偏折する ことを抑制するようにも作用する。そして、井戸層中の る。しかも、井戸脳中に含まれるAs、P、SbはIn 20

20

がより好ましいことがわかる。また、発光スペクトルの

イオード素子の発光強度は井戸層の数が1層以上で10

た効果であると考えられる。

6

エチルシクロペンタジエニルマグネシウム)を利用して 【0071】発光層106を形成した後には、基板を再 1μmのp型GaNコンタクト層110を順次成長させ 0.1G a o.8Nキャリアプロック層101、厚さ0.1 μ mのp型GaN光ガイド層108、厚さ0.5μmのp る。なお、p型不純物としては、EtCP1Mg (ビス 5×10¹⁹~2×10²⁰/cm³の歳既でMgが添加さ 型A10.1Ga0.9Nクラッド層109、および厚さの。 び1050℃まで昇温して、厚さ20nmのp型A1

型不純物濃度は、p型電極112との接合面に近づくに 従って高められることが好ましい。そうすれば、p型電 p型層内におけるp型不純物であるMgの活性化を妨げ 【0072】 p型GaNコンタクト層110におけるp る残留水素を除去するために、p型層の成長中に微量の 極との間のコンタクト抵抗がより低減され得る。また、 酸素を混入させてもよい。

く、保持時間は3分から10分の範囲内であることが好 の供給を停止し、その800℃の基板温度を5分間維持 してから室温まで冷却させる。なお、このような一時的 な基板の保持温度は650℃から900℃の間が好まし MOCVD装置のリアクタ内の全ガスを窒素キャリアガ スとNH3に替えて、60℃/分の冷却速度で温度を降 下させる。 基板温度が800℃に低下した時点でNH3 【0073】p型GaNコンタクト層110の成長後、 ましい。また、その保特温度から室温までの冷却速度 は、30℃/分以上であることが好ましい。 **測定によって評価したところ、従来の窒化物半導体膜で** 利用されているp型アニールを行なわなくても、成長直 後において既にp型の特性を示していた (Mgが活性化 そのコンタクト抵抗も低減していた。これに加えて従来 のp型アニールをも組合せれば、Mgの活性化がより向 していた)。 また、 p 型電極 1 1 2 を形成したときに、 上することは言うまでもない。

【0074】こうして形成された成長膜の表面をラマン

Nバッファ瘤 (0≤×≤1) であってもよく、このバッ 【0075】なお、本実施例における比較的低温で形成 ファ層自体が省略されてもよい。しかしながら、現在商 業的に供給されつつあるGaN 基板はその表面モホロジ ーが好ましくないので、低温A1xGa1-xNバッファ層 を挿入した方が表面モホロジーが改善されるので好まし い。ここで、低温パッファ層とは、約450℃~600 **"Cの成長温度で形成されたパッファ層を意味する。この** ような比較的低温で成長させられたバッファ層は、多結 された低温GaNパッファ層101は低温AlxGal-x 晶または非晶質である。

20 【0076】本実施例の1 no.01G ao.83Nクラック防 止層103はその1n組成比が0.07以外であっても

る。しかしながら、クラッド層104とGaN基板10 0との間の格子不整合が大きくなる場合には、InGa よいし、そのクラック防止層自体を省略することもでき Nクラック防止層103を挿入する方が好ましい。

層の数は前述の3層に限られず、10層以下であれば低 る。特に、井戸層数が2層以上で6層以下のときに、し て障壁層で終了する井戸陽/障壁層の繰返し構造を有し ていたが、井戸層で始まって井戸層で終了する繰返し橋 造を有していてもよい。さらに、発光隔106中の井戸 【0077】本実施例の発光層106は障壁層で開始し いしきい値電流密度で室温連続レーザ発振が可能にな

のみに不純物が添加されてもよいし、両方ともに不純物 【0078】本実施例の発光層では井戸層と障壁層の両 の添加が省略されてもよい。ただし、井戸屋と障壁層の いずれにも不純物が添加されなければ、前述の項目(発 光層中への不純物の添加について)において述べられた きい値電流密度が低くなって好ましい(図10参照)。 方に1×10¹⁸/cm³のSiが添加されたが、障壁層 効果が得られない。

ブロック層107においてはA1組成比が0.2以外の なる。これは、キャリアプロック層107が発光層10 また、キャリアの閉じ込め効果が保持される範囲内でA リア移動度が大きくなり、電気抵抗が低くなる観点から を含んでいるので、発光層106中の1nと、As、P および/またはSbとがその結晶中から抜け出ることを 【0019】本実施例のp型A10.1G a0.8Nキャリア 値であってもよいし、このキャリアプロック層自体が省 略されてもよい。しかしながら、キャリアプロック個1 好ましい。さらに、キャリアブロック層107は、AI 07を設けた方が、レーザ発振しきい値電流密度が低く 1組成比を小さくすれば、キャリアブロック層内のキャ は、キャリアの閉じ込め効果が強くなる点で好ましい。 6中にキャリアを閉じ込める働きを有するからである。 キャリアプロック層107中のA1組成比が高いこと 防止するように作用するので好ましい。

【0080】本実施例ではn型クラッド層104とp型 れたが、A1の組成比が0. 1以外のA1GaN系3元 大きくなり、キャリアや光が発光層内に効率よく閉じ込 ができる。また、キャリアおよび光の閉じ込め効果が保 クラッド層109としてA10.1Ga0.9N結晶が用いら 発光層106とのエネルギギャップ 蓋および屈折率蓋が められ、レーザ発振しきい値電流密度の低減を図ること F層内でのキャリア移動度が大きくなり、発光素子の動 **持される範囲内でA1組成比が小さくされれば、クラッ** 結晶が用いられてもよい。Alの淀晶比を高くすれば、 作電圧を低くすることができる。

率が高まり、レーザ素子の光学特性の向上としきい値電 の厚さにおいて、垂直横モードの単峰化と光閉じ込め効 7~1.0 μmの範囲内にあることが好ましい。こ 【0081】A1GaNクラッド層の厚さに関しては、

流密度の低減を図ることができる。

られず、AlinGaN、AlGaNP、またはAlG GaN層とp型GaN層を含む超格子構造、またはp型 【0082】クラッド層はAIGaN系の3元混晶に限 a NAs などの4元混晶であってもよい。また、p型ク ラッド層は、その電気抵抗を低減するために、p型Al AlGaN層とp型InGaN層を含む超格子構造を有

1 が用いられたが、その基板の主面としての面方位は 2)、M面 (1-100)、または (1-101) 面を フ角度を有する基板であれば、表面モホロジーが良好で 用いてもよい。また、これらの面方位から2。以内のオ [0083] 本実施例ではGaN基板のC面 (000 C固の他に、A固(11-20)、R固(1-10

【0084】本実施例では、MOCVD装置による結晶 成長方法について説明されたが、分子線エピタキシ (M BE)法、またはハイドライド気相成長(HVPE)法 で結晶成長させることも可能である。 [0085] 次に、前述のように結晶成長させられたエ (図1参照)を形成する。このリッジストライプ部1A 型GaN基板100の英面上にHf/Auの順の積層か などの積層を用いることもできる。Hfは、n型電極の **ザ素子に加工するプロセスについて説明する。まず、n** コンタクト抵抗を下げるのに有効である。p 型電極部で ピタキシャルウエハをMOCVD装置から取出してレー らなるn型電極111を形成する。このn型電極111 の材料としては、Ti/Al、Ti/Mo、Hf/Al は、GaN基板の<1-100>方向に沿ってストライ プ状にエッチングを行ない、リッジストライプ部1A

は、幅が2μmになるように作製する。その後、SiO 10を韓出させ、Pd/Mo/Auの順序の積層を蒸着 してp型電極112を形成する。p型電極の材料として は、Pd/Pt/Au、Pd/Au、またはNi/Au 2誘電体膜113を蒸着し、p型GaNコンタクト図1 などの積層を用いることもできる。

00μmの範囲内にあることが好ましい。 共扱器のミラ 一端面は、GaN基板のM面(1-100)が端面にな るように形成される(図5参照)。へき聞とレーザ茶子 のチップ分割は、図5中の破線2Aと2Bに沿って基板 によって、諸国の急核社やスクライブによる削りかすが エピタキシャル表面に付着することを防止できて歩留ま て、共阪器長が500μmのファブリ・ペロー共振器を 作製する。この共版器長は、一般に300μmから10 **側からスクライバを用いて行なわれる。ただし、ミラー** ライバによる野書き傷をつけてからへき開するのではな く、ウエハの一部、たとえばウエハの周緒にのみスクラ イバによる罫書き傷をつけてへき開する。こうすること 端面を形成するためのへき開2Aは、ウエハ全面にスク 【0086】最後に、GaN基板のへき開面を利用し

特開2002-141617

9

【0087】なお、レーザ共版器の帰還法としては、フ アブリ・ペロー型に限られず、一般に知られているDF B (分布帰還)型、DBR (分布プラグ反射)型なども 用い得ることは言うまでもない。 【0088】ファブリ・ベロー共扱器のミラー諸面を形 成した後には、そのミラー端面にSiO1とTiO1の誘 電体膜を交互に蒸着し、70%の反射率を有する誘電体 は、SiO1/A11O1などの多層膜を用いることもで 多層反射膜を形成する。この誘電体多層反射膜として

【0089】なお、前述のn型電極111はn型GaN 基板100の裏面上に形成されたが、ドライエッチング 方法を利用して n型G a N層 1 0 2の一部を韓出させて 製される。

きる。このようにして、窒化物半導体レーザチップが作

01

【0090】次に、上述のような半導体レーザチップを パッケージに実装する方法について述べる。 高密度記録

20

その露出領域上にn型電極を形成してもよい (たとえば

る場合、放熱対策に注意を払わなければならない。 たと えば、Jnはんだ材を用いて、半導体接合を上側にして またはFeなどのサブマウントを介して接続させてもよ m) の核扭力 (30mW以上) レーザチップとして用い もよいが下側にしてチップをパッケージ本体に接続する ことが好ましい。また、パッケージ本体やヒートシンク 部に直接にチップを取付けるのではなくて、Si、AI い。以上のようにして、本発明による窒化物半導体レー N、ダイヤモンド、Mo、CuW、BN、Au、Cu、 用光ディスクに適した背紫色(波長400~410n

[0091] (実施例2) 実施例2においては、図1の 基板に置き換え、さらに図4に示されているようにn型 GaN基板100を図2または図3(b)の擬似GaN GaNコンタクト局102の部分的な露出領域上にn型 電極111を形成した以外は、実施例1の場合と同様で ある。すなわち、以下においては、図2の擬似GaN基 仮200と図3 (b) の模似GaN基板200aとの2 種類の接似GaN基板が説明される。

ザ茶子およびレーザ装置を作製することができる。

[0092] 図2の模似GaN基板200は、種基板2 せるための基礎部分として使用される。また、成長抑制 で示された構成を有するものに限られず、少なくとも種 01、低温パッファ層202、n型GaN膜203、成 長抑制膜204、およびn型G a N D膜205を含んで いる。種基板201は、n型GaN厚膜205を成長さ **藁とは、窒化物半導体膜が直接にはその上に結晶成長し** ない膜を意味する。このような擬似GaN基板は、図2 基板と成長抑制膜を含んでG a N 厚膜が形成されている 40

[0093] 図3の擬似GaN基板200aは、種基板 201、低温パッファ層202、第1のn型GaN膜2

03a、第2のn型GaN膜203bを含んでいる。ここで、図3 (a) は様以GaN基板200aを作製するでや、図3 (b) はその完成図を表わし、図3 (b) はその完成図を表わし、x.x.x.x.

[0094] 図3 (a) に示されているように、まず第10n型GaN膜203aが低温ペップア層202上に積値された後に、ドライエッチング注またはウエットエッチング注またはウエットエッチング注によってその第10n型GaN膜の放送され、第20n型GaN膜203bを積層し、こうして酸凹GaN膜203bを積層し、こうして酸凹のaN膜203bを積層し、こうのでは数回のaN膜203bを積層し、こうのでは数回のaN距203bを指層し、こうして接近GaN基位20aを定式とは高。では第10n型GaN膜203の厚さの途中までしか溝を形成していないが、低温ペッフ下層202または積基板201に至る深さまで溝を形成してもよい。

[0095]こうして作型された擬似GaN基板200または200a上に窒化物半導体膜を成長させれば、その窒化物半導体膜の関連配位密度(エッチビット密度で約7×10¹/~m²以上)だれて低メン・カインを放ける変化が半導体膜の可適配位密度 (エッチビット密度で約4×10²/~m²以上)に比べて低くなる。なだし様似CaN基板は成長抑制膜またはて低くなる。なだし様似CaN基板は成長抑制膜または高か形成性置に依存して質過転位密度の低い領域と高いが低くれる。他方、様似GaN基板は、窒化か半導体基板に比べて安地素等な形に比べて安価に大面積のものが作製され得か半導体基板に比べて安価に大面積のものが作製され得か半導体基板に比べて安価に大面積のものが作製され得

【0096】食油転位密度の低い額域は、図2において は結晶成長抑制膜204の幅の中央直上206と成長抑 制限204が形成されていない部分の幅の中央直上20 7とを除く傾域であり、図3(b)においては溝の幅の 中央直上208と溝が形成されていない部分(丘)の幅 の中央直上209と後次く領域である。すなわち、図2 中の破線206と207の間の中央付近および図3

(b) 中の接線208と209の間の中央行道において(b) 中の接線208と209の間の中央行道において信任密度が低く、破線206、207、208、および209の部分では逆に関連機位密度が高い。したがって、域辺区3 N 基板上に発光業 半を形成する場合は、土地の関連転位密度の低い関域上に形成すればい。

[0097] なお、上述のn型GaN厚限205、第1 のn型GaN膜203a、第2のn型GaN膜203b の材料tGaNに殴られず、AlxGayInzN (0≤ x≤1;0≤y≤1;0≤z≤1;x+y+z=1)を 用いることができる。強化効準導体レーザの場合、垂直 様モードの単体化のためにはクラッド隔よりも超折率の 低い層がそのクラッド層の外側に接している必要があ り、AlGaNを用いることはこの観点から好ましい。 また、AlxGayInzN (0≤x≤1;0≤y≤1; 0≤z≤1;x+y+z=1)の鑑素原子のうちで約1

(ただし、六方晶系が維持されることが条件でもる)。 さらに、AliGay IniN験中には、Si、O、C 1、S、C、Ge、Zn、Cd、Mg、および/または Beがドーピングされてもよい。n型塗化物半導体設と しては、これらのドーピング材のうちのSi、O、Cl [0098] 積基板201の具体例としては、C面、M 面、A面、もしくはR面を主面として有するサファイブ を用いることができ、この他にもGaAs、ZnO、M gO、スピネル、Ge、Si、6H-SiC、GaN、 4H-SiC、または3C-SiCなどが用いられ得 5°また、成長抑制酸204の具体例としては、SiO た、 SiOx 、TiOx、もしくはAllのよび移電体 酸、またはカングランなどの金属酸が用いられ得る。 また、図2に示された成長抑制酸204の位置に、そ 代のに空荷部が設けられてもよい。即型GaNロ膜20 行い空荷部が設けられれば、その空滴部の上方では結 晶重が緩和され、結果的に発光素子の発光効率の向上に 寄与するので好ましい。

20 [0099]権基後201として導砲性のSiCやSi が用いられる場合には、図1に示されているように、基 板の薬面面上にn型電極を形成してもよいことは言うま でもない。ただし、その場合には低温バッフテ層202 の代わりに高温バッフテ層を用いる必要がある。ここ で、高温バッフテ層とは、少なくとも700℃以上の温 度で推積されたバッフテ層を意味する。また、高温バッ ファ層は少なくともAlを含んでいなければならない。 なぜならば、それがAlを含んでいなければならない。 なぜならば、それがAlを含んでいなければならない。 なぜならば、それがAlを含んでいなければ、SiCま たはSiの基板上に結晶性の良好な窒化物半導体膜を成 パッファ層として、InAlNが用いられ得る。

[0100] 本実施図の種基板の主面として用いられる面方位は、C面 (0001)、A面 (111-20)、R面 (1-102)、M面 (1-100)、または (1-101) 面を用いることができる。また、これらの面方位から2。以内のオフ角度を有する基板主面であれば、その表面モホロジーが良好である。

[0101] 次に、接辺GaN基板を用いた窒化物半導体発光素子 (レーザダイオード) について、図4を参照して説明する。図4の発光素子は、54版300、低温CaNペッフ7層101、加型CaNコンタクト層102、加型1n0.01Ga0.8Nクラッド隔106、24階105、24階106、24階106、24階106、24階106、24階106、24階106、24階106、24年111、22(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24) 111(24

- 這条件は、実施例1の場合と同様である。ただし、その パッケージ実装については、種基板の熱伝導率が低い (たとえばサフィイブ基板) 場合には、半導体接合を下にして実装することが好ましい。またレーザダイオードは、図4に示されたリッジストライブ部14が、少なくとも図2中の破袋部208と2074まび図3(b)中の破袋部208と20名含まないように形成される。 G_{1-1N} (G_{2N-1N}) A_{2N-1N} $A_{2N-1N-1N}$

成比を調整すればよい。たとえば、青紫色レーザ(故長 にはAsの組成比率xがO.02以下、GaNi-yPy光 グ効果のために、従来に比べてわずかな格子不整合でエ 410nm) 素子中のGaNI-xAsx光ガイド層の場合 してGaNI-2Sb2光ガイド層の場合にはSbの組成比 Fを招く。他方、A1GaNクラッド層とGaNAs P ネルギバンドギャップ差が大きくなるとともに屈折率差 [0105] GaNAsrPySbzN1-x-y-z (0≤x≤ その光ガイド層が発光層中の障壁層に比べてエネルギバ ンドギャップが大きくなるようにx、y、およびzの組 ガイド層の場合にはPの組成比率yが0.03以下、そ 率2が0、01以下に調整される。なお、この実施例3 における発光層に関する他の条件は、実施例1の場合と イド層では、たとえクラッド層中のAI含有量を増大さ 並に格子不整合が増加してクラックの発生や結晶性の低 Sb光ガイド層との組合せの場合、As、P、またはS **トによるパンドギャップにおける非常に大きなボウイン** も大きくなる。このことによって、窒化物半薄体レーザ ダイオードボーにおいてソーザ光を効率よく閉じ込める 0. 03;0≤y≤0. 06;0≤z≤0. 01;x+ 【0104】従来のA1GaNクラッド隔/GaN光ガ せたとしても、これらの互いの層の屈折率差が小さく、 ことができ、垂直横モード特性(単峰化)が向上する。 y+z≠0)光ガイド層における組成比率に関しては、

[0106] (実施例4) 実施例4は窒化物半導体発光 ダイオード素子に関するものである。図6において、この実施例4の窒化物半導体発光ダイオード素子の模式的

(12)

特開2002-141617

な総断面図が示されている。 【0107】図6の発光ダイオード素子は、C面(00 01)を有するn型GaN基版600、毎温GaNベッフア層601(概算100nm)、n型GaN層602 (膜障3μm、Si不純物濃度1×10¹⁸/cm³)、 発光層603、p型A10.1Ga0.9Nキャリアプロック 路604 (膜厚20nm、Mg不純物濃度6×10¹⁹/cm³)、p型GaNコンタクト層605 (膜厚0.1 μm、Mg不純物濃度1×10²⁰/cm³)、透光性電 10 極606、p型電極607、およびn型電極608を含 んでいる。なお、このような窒化物半導体発光ダイオー ド来子は、実施例1の場合と同様の製造方法で作製する ことができる。

[0108] 本実施倒のn型電福608としては、n型GaN基板6000数面圖からHf/Auの面の積層が 形成された。この他に、n型電極材料としては、Ti/ Al、Ti/Mo、Hf/Alなどを用いることもできる。特に、n型電極にHfを用いることは、その値極のコンタット格抗が下がるので好ましい。また、本実施例のn型電極608はn型GaN基板6000数面側上に 形成されたが、G7に示されているように、ドライエッケングを利用した部分的なエッチングによってエンヴェイの可塑電機を開からn型GaNコンタット極602の一部を数出させ、その縁出部上にn型電極608を形成し [0109] 他方、p型コンタクト層605上には、P さ7 nmのPd透光性価極60を形成し、その上にp 型電極607としてAuが蒸落された。なお、この透光 性価値材料として、たとえばNi、Pd/Mo、Pd/ Pt、Pd/Au、Ni/Auなどを用いてもよい。

(0110) 最後に、n型GaN路板600の製面側からスクライベを用いてチップ分割が行なわれた。スクライグを基板の裏面側から行なうのは、スクライブによる間かかすが光射出面となる透光性電極側に付着しないようにするためである。直交する2方向のスクライブによるつちで、一方の方向は窒化物半導体基板のへき周面に平行になるようにチップ分割を行なった。このことにより、チップ分割時におけるチッピング、クラッキングなどによるチップ形状の異常を防止し、ウェッかたりの歩留りを向上させることができる。以上のようにし、未発明による選化物半導体発光ダイオード素子を作製する

[0111] なお、窒化物半導体 (GaN) 基板600の(わりに、実施例2で説明された疑似GaN基板上に成長がHいられてもよい。そのような疑似GaN基板上に成長させられた窒化物半導体強光ダイオード素子においても、その特性は窒化物半導体基板上のダイオード素子とほぼ同じである。ただし、疑似GaN基板では、資通転位密度の低い領域と高い領域が混在しているので、窒化物半導体基板に比べて発光素子の歩留りが少し低下する。他

ことができる。

40

20

0%以下が、As、B、またはSbで置換されてもよい

方、疑似GaN基板は、窒化物半導体基板に比べて安価 に大面積のものが作製され得るという利点を有してい

てn型電極とp型電極の双方を形成すればよい。図7の 発光ダイオード素子は、基板300、低温GaNバッフ 【0112】擬似GaN基板の種基板が絶縁性である場 7層601、n型GaNコンタクト層602 (膜厚3μ 合は、図7に示されているように、基板の片面側におい m、Si不純物濃度1×1018/cm³)、発光層60 3、p型A10.1Ga0.9Nキャリアプロック層604 (膜厚20nm, Mg不純物濃度6×1019/c

606、p型電極607、n型電極608、および誘電 m³)、 p型GaNコンタクト層605 (膜厚0. 1μ m、Mg不純物濃度1×1020/cm³)、透光性間極 体膜609を含んでいる。ここで、基板300として は、擬似GaN基板が用いられている。

【0113】 (実施例5) 実施例5では、本発明による ド素子に適用したことを除けば、実施例1から4の場合 と同様である。この発光素子の発光強度についても、発 [0114] (実施例6) 実施例6においては、実施例 ように、井戸層と障壁層において不純物Siの代わりに 1~5における発光層中の井戸層と障壁層に不純物 Si 発光層を窒化物半導体スーパールミネッセントダイオー の代わりに1×1020/cm3のCが浴甘された。この 光ダイオード楽子と同様であった(図11参照)。 Cを用いた場合にも同様の効果が得られた。

た。このように、井戸屋と障壁層において不純物Siの [0115] (実施例7) 実施例7においては、実施例 1~5における発光層中の井戸層と障壁層に不純物とし 【0116】 (実施例8) 実施例8では、本発明による **発化物半導体レーザが光学装置に適用された例について** てSiの代わりに1×1016/cm3のMgが添加され 代わりにMgを用いた場合にも同様の効果が得られた。

一ザ素子である。

できると考えられた。しかし、InGaNAsPSb井 有効質量が小さいことは少ない電流注入量でレーザ発振 化物半導体レー扩素子に比べて、これらの元素を含む井 戸層を利用すればしきい値電流密度が低くかつ自励発振 特性に優れた(雑音特性に優れた)半導体レーザを作製 の元素が井戸層中に含まれることによって、井戸層中の のためのキャリア反転分布が得られることを意味し、電 子とホールの移動度が大きいことは発光層中で電子とホ P、またはSbのいずれをも含有しない I n G a N 系窒 【0117】本発明における井戸層には、少なくともA s、P、またはSbのいずれかが含まれている。これら 電子とホールの有効質量を小さくすることができ、それ らの移動度を大きくすることができる。電子とホールの **ールが発光再結合によって消滅しても新たな電子とホー** ルが拡散によって高速で注入され得ることを意味する。 すなわち、現在報告されているような井戸層内にAs、

井戸層中にAs、PまたはSbの偏折を生じさせ、その ことによる濃度分離または結晶系分離による結晶性の低 おいては、前述のように、InGaN障壁層中のInに よる貫通転位周辺部の偏析効果によってその障壁層上の 下が生じるとともに井戸届と障壁隔との間の界面急峻性 が損なわれていた。したがって、従来の技術では井戸屋 がAs、P、またはSbを含んでいても発光素子におけ 戸層/In GaN障壁層を含む窒化物半導体発光素子に る十分な特性改善が得られなかった。

×10-1) 障壁層を含む発光層を窒化物半導体基板また P、またはSbによる濃度分離および結晶系分離を低減 するとともに発光層内における井戸層と障壁層との界面 急峻性を改善することができた。このことによって、発 光半値幅の低減による発光強度の向上と多重量子井戸構 造の作製が可能になり、半導体レーザの低しきい値電流 密度とそれに付随する高出力かつ高寿命を実現するとと もに、雑音特性の優れた半導体レーザを作製することが 可能である。たとえば、本発明によって背禁色(400 ~410nm)の発振波長の窒化物半導体レーザを作製 ずれば、現在報告されている InGaN系窒化物半導体 ワーボに兄くたフーザ発振しきい値電流密度が低く、フ ーザ光中の自然放出光が減少して雑音にも強い半導体レ 一ザを得ることが可能である。また、そのようなレーザ 素子は高温雰囲気中でも高出力 (50mW) で安定して 助作するので、高密度記録再生用光ディスクに適したレ 5) 井戸園/InbGa1-bN (1×10-4≦b≦1.5 $P_y \otimes b_z$ (0<a\le 0. 25; 0<x+y+z\le 0. 1 【0118】本発明では、InsGai-sNi-x-y-2Asx は擬似GaN基板上で成長させることによって、As、

介して検出器10で検出され、これによって再生信号が は記録時に30mWであり、再生時には5mW程度であ 走査ミラー5およびレンズ6を介してディスク7上に記 録される。ディスク7は、モータ8によって回転させら れる。再生時にはディスク7上のピット配列によって光 学的に変調された反射レーザ光がビームスプリッタ9を 得られる。これらの各要素の動作は、制御回路11によ [0119] 図8において、本発明によるレーザ素子1 を含む光学装置の一例として、光ピックアップ装置2を 含む光ディスク情報記録再生装置が模式的なプロック図 って制御される。 レーザ素子1の出力については、通常 で示されている。この光学情報記録再生装置において、 レーザ光3は入力情報に応じて光変調器4で変調され、

[0125]

【0120】本発明によるレーザ素子は上述のような光 ディスク記録再生装置に利用され得るのみならず、レー ザプリンタ、パーコードリーダなどに利用し得る。

【0121】(実施例9)実施例9においては、本発明 オードを含む発光装置(たとえば、表示装置、白色光源 による発光層を利用して作製した窒化物半導体発光ダイ 20

22

装置等)について説明する。

によって井戸屋の1n組成比を抑制できるので好ましい と考えられていた。しかしながら、InGaNAsPS 通転位周辺部における1nの偏折効果によってその障壁 **層上の井戸層中にAs、P、またはSbの偏折を生じさ** せ、そのことによる微度分離または結晶系分離による結 晶性の低下と、井戸園と障壁園との間の界面急峻性の低 下を招いていた。そのために、As、P、またはSbを 井戸園に添加することの優位性が十分には活かされてい P、またはSbは、Inと同様に井戸園のパンドギャッ ブエネルギを小さくする働きがある。したがって、従来 b井戸個/InGaN障壁陽を含む窒化物半導体発光素 子では、以前に述べたように、InGaN障壁層中の質 からもAs、P、またはSbを井戸層に含有させること 【0122】本発明による発光層に含まれているAs、

良好な界面急峻性を有する多重量子井戸構造の作製が可 園を窒化物半導体基板または様似G a N基板上で成長さ たはスーパールミネッセントダイオードを得ることがで + z ≤ 0. 15) 井戸碣/1 n G a N障壁園を含む発光 せることによって、As、P、またはSbによる濃度分 雕や結晶系分離を低減して発光層中の井戸層と障壁層と とによって、発光半値幅の低減による発光強度の向上と 能になり、色むらの少ない短波長色の発光ダイオードま 1-x-y-1AsxPySb2 (0<a≤0. 25;0<x+y の間における急峻性の改善をすることができた。このこ [0123] しかし、本発明では、In.Gai-1N きる(表1参照)。

域にある本発明の発光ダイオードに蛍光塗料を塗布する バックライトとしても利用することができ、小型で高鮮 [0124] また、発光波長が380~430nmの領 る。このような白色光源を用いることによって、従来の **夜晶ディスプレイに用いられてきたハロゲン光源に代わ** って、低消費電力で高輝度のパックライトの実現が可能 るマン・マシンインターフェイスの液晶ディスプレイ用 となる。これは、携帯ノートパソコンや携帯電話におけ ことによって白色光源として利用することも可能であ 男な液晶ディスプレイを提供することができる。

板上で成長させることによって、井戸層中の濃度分離お よび結晶系分離を低域して井戸層と降壁層との間の界面 急峻性を改善して発光効率の高い窒化物半導体発光素子 を提供することができるとともに、その発光素子を含む (1×10-4≤b≤1.5×10-1) 障壁層を含む窒化 物半導体発光層を窒化物半導体基板または擬似G a N 基 【発明の効果】以上のように、本発明によれば、Ine Gai- $_{a}$ Ni- $_{x-y-z}$ As $_{x}$ P $_{y}$ Sb $_{z}$ (0<a \leq 0.25; 0<x+y+z≤0, 15) 拼戸層/lnbGa1-bN 種々の光学装置を提供することもできる。

2

特開2002-141617

【図面の簡単な説明】

[図2] 擬似GaN基板の一例を示す模式的な断面図 [図1] 本発明による窒化物半導体レーザ素子構造の - 例を示す模式的な所面図である。

【図3】 擬似GaN基板の他の例における作製工程を 示士模式的な断面図である。 である。

[図4] 本発明による変化物半導体レーザ構造の他の 例を示す模式的な断面図である。

【図5】 図1のレーザ構造を含むウエハのチップ分割 を図解する模式的な上面図である。

【図6】 本発明による発光ダイオード構造の一例を示 す模式的な断面図である。 【囚7】 本発明による発光ダイオード構造の他の例を 示す模式的な所面図である。

【図8】 本発明による発光素子を含む光ディスク装置 を示す模式的なブロック図である。 [図9] 窒化物半導体基板または擬似GaN基板上で 成長させられた発光層中の障壁層における I n組成比に 依存する In相分離の度合と発光層の発光強度とを示す グラフである。

20

【図10】 本発明によるレーザダイオードにおける井 戸窗の数としきい値電流密度との関係を示すグラフであ 【図11】 本発明による発光ダイオードにおける井戸 層の数と発光強度との関係を示すグラフである。

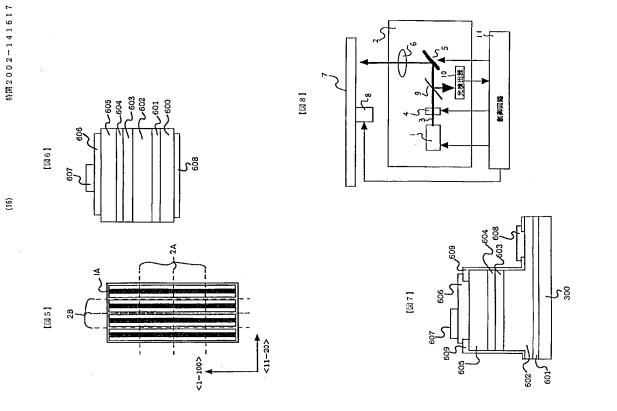
100 n型GaN基板、101 GaNバッファ層、 【符号の説明】

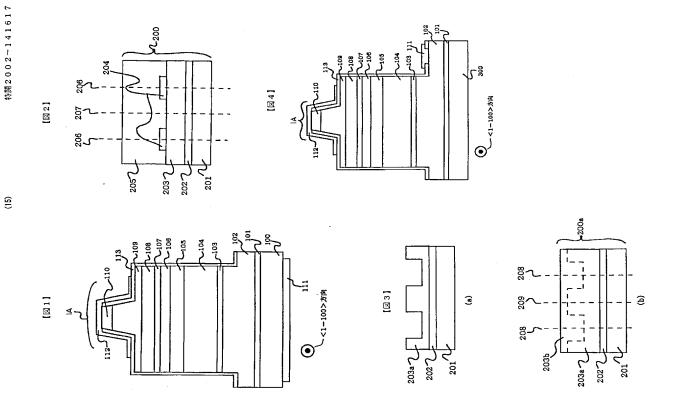
102 n型GaN (コンタクト) 層、103 n型

30

0.1G a 0.9 N クラッド層、105 n型GaN光ガイド パッファ層、203 n型GaN膜、203a 第1の 層、106 狏光層、107 p型A10.2Gao.8Nキ ナリアプロック層、108 P型GaN光ガイド層、1 09 p型Alo.1Gao.9Nクラッド層、110 p型 電極、113 誘電体膜、200凝似GaN基板、20 0a 模似GaN基板、201 種基板、202 低温 n型GaN膜、203b第2のn型GaN膜、204 no.07G ao.93Nクラック防止層、104 n型Al GaNコンタクト層、111 n型電極、112

成長抑制膜、205 n型GaN厚膜、206成長抑制 アプロック層、605 p型GaNコンタクト層、60 膜の幅の中央直上部、207 成長抑制膜が形成されて いない部分の幅の中央直上部、208 溝の幅の中央直 上部、209 溝が形成されていない部分(丘)の幅の 603 発光層、604 p型A10.1Gao.gNキャリ 中央直上部、300 基板、600 n型GaN基板、 601低温GaNバッファ層、602 n型GaN層、 6 透光性電極、607 p型電極、608 n型電 極、609 誘電体膜。 40





(1)

[図10]

[6🖾]

-11-

井戸屠数 (層)

-18-

F ターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA34 CA40 CA65 5F073 AA74 AA83 BA04 CA07 CB02 CB05 CB20 DA05 DA22 DA24 DA32 DA33 EA07 EA23 FA01 FA13 GA02 GA12

井戸層数(層) 2

関値電流密度(KA/cmi

(%)/7合數の糖代群nI

 $\ln_b G_{e_1-b}$ N降壁層の5記放比b

[図11]

(athu .dat) 東嶽光発